Dielektriko poliarizacija

Patalpinus dielektriką į elektrinį lauką jis poliarizuojasi, t.y. atsiranda nelygus nuliui dipolinis momentas. Kodėl taip yra?

Dielektrikai susideda iš atomų ar molekulių, o atomai ir molekulės iš teigiamą krūvį turinčių branduolių ir neigiamų elektroninių apvalkalų. Yra keli poliarizacijos mechanizmai, kurie gali pasireikšti tiek visi kartu tiek atskirai.

(1) Dielektrikas sudarytas iš molekulių turinčių simetrinę sandarą, t.y. teigiamų ir neigiamų krūvių centrai nesant išorinio elektrinio lauko sutampa. Tokių molekulių dipolinis momentas **p** lygus nuliui. Šios molekulės vadinamos nepolinėmis. Įjungus išorinį elektrinį lauką, teigiami ir neigiami krūvininkai pasislenka iš pusiausvyros padėčių ir molekulės įgyja dipolinį momentą, kurį paprastai galima išreikšti taip $\mathbf{p} = \alpha\mathbf{E}$, α – molekulės poliarizuojamumas. Jis yra medžiagos charakteristika nustatoma eksperimentiškai. Elektroniniai apvalkalai neinertiški, tad šis poliarizacijos mechanizmas labai greitas (neinertiškas). Tokia poliarizacija vadinama elektronine.

Atstovai būtų $N_2, H_2, O_2, CO_2, CH_4$ ir t.t.

(2) Dielektrikas sudarytas iš asimetrinę sandarą turinčių molekulių, t.y. juose teigiamų ir neigiamų krūvių centrai nesutampa iš pat pradžių. Tokios molekulės vadinamos polinėmis, t.y. jos turi nenulinį dipolinį momentą. Nesant elektrinio lauko, dipoliniai momentai būna orientuoti chaotiškai dėl šiluminio judėjimo. Patalpinus tokį dielektriką į elekrinį lauką, jis bandys pasukti dipolius išilgai lauko ir dielektrikas poliarizuojasi. Kadangi molekulės pakankamai masyvios, tai joms persitvarkyti užtrunka kažkiek laiko. Todėl tokia poliarizacija pasižymi inertiškumu ir vadinama orientacine arba dipoline poliarizacija.

Atstovai: H_2O, NH_3, SO_2, CO ir t.t.

(3) Trečia grupė, tai joniniai kristalai. Juose krūviai išsidėstę paeiliui ir visumoje kristalas neutralus. Patalpinus kristalą į elektrinį lauką, gardelė deformuojasi ir atsiranda poliarizacija (nesukompensuoti dipoliniai momentai). Pasižymi inertiškumu. Šis tipas vadinamas jonine poliarizacija.

Atstovai: $NaCl, KCl, KBr$ ir t.t.

(4) Ketvirta grupė, kurios toliau nenagrinėsime, tai segnetoelektrikai. Jie pasižymi domenine sandara, t.y. juose iš pat pradžių yra sritys (domenai) kuriose visi dipoliai orientuoti viena kryptimi. Segnetoelektrikai elgiasi anomaliai – pvz. patalpinti į elektrinį lauką jie išlaiko nenulinę poliarizaciją ir lauką išjungus. Jiems būdinga kritinė temperatūra, aukščiau kurios segnetoelektrikai virsta įprastu antro tipo dielektriku.

Atstovai: segneto druska, bario titanatas.

Poliarizacija. Patalpinus dielektriką į išorinį elektrinį lauką jis poliarizuojasi, t.y. įgyja nenulinį dipolinį momentą

$$\mathbf{p}_V = \sum_i \mathbf{p}_i$$
$$\mathbf{p}_i = e_i \cdot \Delta\mathbf{r}_i \qquad , \tag{10.1}$$
$$\mathbf{p}_V = \sum_i \mathbf{p}_i = \sum_j e_j \mathbf{r}_j$$

kur $\mathbf{p}_i$ – i-tosios molekulės dipolinis momentas (turimas arba indukuotas). Kieto kūno fizikoje vietoje dipolinio momento dažniausiai naudojamas dydis vadinamas poliarizuotumu arba poliarizacijos vektoriumi, kuris yra tūrio V vieneto dipolinis momentas

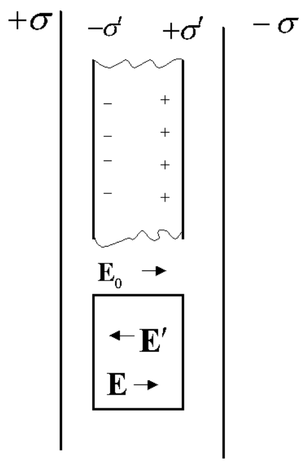
$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{p}_V}{V} = \frac{1}{V}\sum_i \mathbf{p}_i \tag{10.2}$$

Iš eksperimentų žinoma, kad didelei dielektrikų klasei (išskyrus segnetoelektrikus) tinka tiesinė poliarizuotumo priklausomybė nuo elektrinio lauko. Taigi, jei dielektrikas izotropinis ir elektrinis laukas $\mathbf{E}$ ne labai stiprus, tai

$$\mathbf{P} = \chi\varepsilon_0\mathbf{E} \tag{10.3}$$

χ – bedimensinis didesnis už nulį dydis vadinamas dielektriniu jautriu, o ε_0 – elektrinė konstanta (vakuumo dielektrinė skvarba). Vandens $\chi = 80$, spirito $\chi = 25$, bet šiaip daugeliui medžiagų jis lygus keletui vienetų.

Nustatysime kaip χ siejasi su kitais dydžiais charakterizuojančiais kristalo elektrines sąvybes. Tam įneškime dielektriką į homogeninį elektrostatinį lauką, kuriamą dviejų lygiagrečių begalinės išmieros plokštelių. Dielektrikas poliarizuojasi ir jo paviršiuje atsiranda paviršiniai krūviai $-\sigma'$ ir $+\sigma'$, kurie vadinami surištais. Šie krūviai mažesni už esančius ant plokštelių σ, todėl laukas kompensuojamas nepilnai. Tegul pradinis laukas (kai nėra dielektriko tarp plokštelių) $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0$. Taigi surišti krūviai sukuria papildomą lauką $\mathbf{E}'$, kuris nukreiptas priešinga kryptimi negu $\mathbf{E}_0$. Tuo būdu pilnas lauko stiprumas dielektrike bus jų abiejų suma su atitinkamais ženklais



$$E = E_0 - E' \tag{10.4}$$

E' siejasi su σ' kaip ir E_0 su σ pagal kondensatoriaus formulę

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} \tag{10.5}$$

Taigi

$$E = E_0 - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} \qquad (10.\mathbf{6})$$

Rasime σ'. Pilnas plokštelės dipolinis momentas gali būti užrašytas kaip poliarizacijos ir tūrio sandauga

$$p_V = P \cdot V = P \cdot S \cdot d \,, \qquad (10.\mathbf{7})$$

kur V – tūris, S – paviršiaus plotas, o d – plokštelės storis.

Iš kitos pusės pilnas dipolinis momentas lygus surišto krūvio $Q' = \sigma' \cdot S$ ir atstumo tarp tarp krūvių d sandaugai, t.y.

$$p_V = \sigma' S d \,. \qquad (10.\mathbf{8})$$

Tuo būdu sulyginus abi išraiškas gausime

$$\sigma' = P \qquad (10.\mathbf{9})$$

Jei mūsų paviršius būtų sudėtingesnės formos, tai turėtume tokią formulę

$$\sigma' = (\mathbf{P} \cdot \mathbf{n}) \,, \qquad (10.\mathbf{10})$$

kur **n** – vienetinis normalės į paviršių vektorius. Šią formulę nesunku gauti paviršių suskaldžius į mažus plotelius, kuriuose galima laikyti, kad paviršius yra plokščias.

Toliau pasinaudoję formule surišančia **P** ir **E**, gausime

$$E = E_0 - \chi E \qquad (10.\mathbf{11})$$

Taigi laukas dielektrike bus

$$E = \frac{E_0}{1+\chi} \qquad (10.\mathbf{12})$$

Naudojantis dielektrinės skvarbos ε apibrėžimu, galime užrašyti šį sąryšį ir taip

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} \qquad (10.\mathbf{13})$$

Ir tuo būdu turime

$$\varepsilon = 1 + \chi \qquad (10.\mathbf{14})$$

Iš čia galime pasakyti, kad ε charakterizuoja lauko susilpnėjimą dėl dielektriko sugebėjimo poliarizuotis.

Poliarizacija gali būti susieta ir su elektrinio lauko indukcijos (slinkties) vektoriumi **D**. Pagal apibrėžimą

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \mathbf{E} \qquad (10.\mathbf{15})$$

Naudojantis formulėmis siejančiomis dielektrinę skvarbą su dielektriniu jautriu bei poliarizacijos vektorių su elektrinio lauko stiprumu, šią formulę užrašysime taip

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 (1+\chi) \mathbf{E} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \qquad (10.\mathbf{16})$$

Elektrinio lauko indukcijos vektorius kaip ir poliarizacijos vektorius matuojamas kulonais į kvadratinį metrą.

Kadangi **D** nuo ε nepriklauso (t.y. nepriklauso nuo medžiagos poliarizacijos), tai jis aprašo tik laisvų krūvininkų sukurtą lauką. Bet surišti krūvininkai gali sukelti laisvųjų persiskirstymą. Reiškia **D** aprašo tokių laisvų persiskirsčiųsių krūvininkų lauką. **E** aprašo tiek laisvų tiek surištų krūvininkų lauką. Iš Maksvelo (J. C. Maxwell) lygties galime užrašyti

$$div\mathbf{D} = \rho = \varepsilon_0 div\mathbf{E} + div\mathbf{P} = \varepsilon_0 div\mathbf{E} + \rho_s \qquad (10.\mathbf{17})$$

kur ρ – laisvų krūvininkų tankis, o poliarizacijos divergenciją pažymėjome kaip surištų krūvininkų tankį ρ_s. Taigi turime

$$\varepsilon_0 div\mathbf{E} = \rho - \rho_s \qquad (10.\mathbf{18})$$

Baigiant galima pasakyti, kad ε arba χ nusako medžiagos atsaką į poveikį elektriniu lauku ir tai yra svarbios medžiagos charakteristikos matuojamos eksperimentuose. Visumoje jos yra elektrinio lauko dažnio funkcijos, t.y. $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ arba $\chi = \chi(\omega)$.